

Вк. № 14/24
от 19.08.2024

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Филимоновой Людмилы Николаевны

«Тепломассоперенос в воде и водонасыщенных пористых средах в области инверсии плотности воды», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность диссертационной работы. Эффективная и безопасная эксплуатация инженерных сооружений, в которых присутствует вода (зданий, скважин, трубопроводов, дорог и пр.), в области влияния сезонных колебаний температур требует учета немонотонного изменения плотности воды при изменении температуры. Это связано с тем, что без учета максимума плотности воды, конвективное течение происходит в одном направлении, а при его учёте возможна инверсия направления конвективного потока. К сожалению, в большинстве оценок, расчётов, методик это свойство воды не учитывается, что приводит к серьёзным ошибкам при расчетах физических и технологических процессов.

Представленная Филимоновой Л.Н. диссертационная работа посвящена численному исследованию влияния максимума плотности воды на структуру и свойства свободных конвективных течений в воде и в водонасыщенных пористых средах, в том числе с учётом фазового перехода вода-лёд на базе платформы OpenFOAM.

В диссертации были поставлены и решены следующие задачи: исследование влияния поверхностного натяжения на тепломассоперенос в цилиндрическом сосуде, в центре которого вертикально расположен цилиндрический охлаждающий элемент, изучение влияния конвективного теплопереноса на процесс охлаждения насыщенной водой пористой среды при учете явления инверсии плотности воды для различных значений проницаемости пористой среды, определение влияния конвективного течения воды в пористой среде на структуру фронта кристаллизации и степень промерзания пористой среды. Кроме того, исследовано взаимодействие течений, вызванных поверхностным натяжением на свободной поверхности (эффект Марангони), и свободным конвективным течением воды при инверсии её плотности. Исследования проводятся численным методом на базе

платформы OpenFOAM с верификацией и валидацией полученных результатов с известными экспериментальными данными.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержит 98 страниц, 32 рисунка и 2 таблицы. Список использованной литературы включает 94 наименования.

Во введении описана актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснованы научная новизна, практическая и теоретическая значимость исследования, приведены данные об апробации результатов и публикациях по теме исследования.

В первой главе приводится анализ опубликованных работ по исследованию конвективных течений в воде и водонасыщенных пористых средах. Рассмотрены уравнения и безразмерные параметры, описывающие свободную конвекцию; эффект Марангони; особенности течений при учёте инверсии плотности воды; конвективный перенос в пористых средах; конвективное течение при кристаллизации воды.

Во второй главе представлена физико-математическая модель свободного конвективного течения воды в цилиндрическом сосуде с охлаждающим элементом при инверсии её плотности. Одновременно с инверсией плотности воды учитываются натяжение на свободной поверхности (эффект Марангони), а также зависимости динамической вязкости, теплоёмкости и теплопроводности воды от температуры. Детально изучена структура свободных конвективных течений, впервые объяснено взаимное влияние и роли инверсии плотности воды и поверхностного натяжения в тепломассопереносе. Для проверки корректности модели проведено сравнение с экспериментом и численным расчётом из работы [Cawley M.F. and McBride P. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 47, no. 6–7, 2004].

В третьей главе представлено численное решение многопараметрической задачи конвективного течения воды в высокопроницаемой пористой среде в цилиндрическом сосуде с охлаждающим элементом на основе полной физико-математической модели тепломассопереноса при инверсии плотности воды, учитывающей зависимость динамической вязкости, теплоёмкости, теплопроводности воды, а также плотности, теплоёмкости, теплопроводности пористой среды от температуры. Предложен безразмерный параметр, оценивая который можно

дать рекомендации по учёту конвективных течений при проектировании и строительстве заданий и сооружений.

В четвёртой главе представлено численное решение многопараметрической задачи кристаллизации воды в пористой среде в цилиндрическом сосуде с охлаждающим элементом на основе полной физико-математической модели тепломассопереноса при инверсии плотности воды, учитывающей конвективные течения, зависимость теплофизических параметров воды и пористой среды от температуры. Показано, что свободное конвективное течение в водонасыщенной пористой среде вблизи области фазового перехода не может быть описано моделью, не учитывающей инверсию плотности воды.

В заключение приведены основные результаты и выводы, сделанные автором диссертационной работы.

Научная новизна полученных результатов. В качестве основных научных результатов диссертационной работы можно отметить следующие. Исследованы особенности взаимодействий течений, вызванных поверхностным натяжением на свободной поверхности (эффект Марангони), и свободным конвективным течением воды при инверсии её плотности. С использованием оценочного параметра, по характерным свойствам системы, сделан вывод о необходимости расчётов конвективного течения в пористых средах при инверсии плотности воды. Исследованы влияние конвективных течений на форму границы фазового перехода в пористых средах, и влияние инверсии плотности на степень промерзания пористой среды.

Оценка обоснованности и достоверности результатов. Автор диссертационной работы, использует известные законы механики многофазных сред и термодинамики. В работе использованы широко апробированные численные методы, которые интегрированы в открытую интегрируемую платформу для численного моделирования задач механики сплошных сред OpenFOAM, позволяющую решать сложные многопараметрические задачи. На основании экспериментальных данных других исследователей, Филимоновой Л.Н. выполнены расчеты, подтверждающие обоснованность и правомерность применяемых физико-математических моделей.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в необходимости корректного физического описания структуры конвективных течений в воде и водонасыщенных пористых средах. Они могут быть

использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений (зданий, скважин, трубопроводов, дорог и пр.).

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В постановках задач (2.1.1) – (2.1.8), (3.1.1) – (3.1.8) отсутствуют граничные условия для давления.

2. Качество рисунков 2.3.2 (b)–(g) и 2.3.3. не позволяет визуально сопоставить представленные на них результаты.

3. В диссертационной работе нет сравнения с экспериментальными данными для результатов численного моделирования конвективных течений воды в пористых средах с учётом фазового перехода. Сравнение с экспериментом и численным расчётом проведено лишь для конвективных течений в воде.

4. Постановки задач сформулированы для трехмерного объекта (цилиндрический сосуд). Среда моделирования OpenFOAM позволяет моделировать трёхмерные задачи. Однако, в диссертационной работе представлены результаты двумерного моделирования на прямоугольной сетке. В диссертации никак не обсуждаются допущения, при которых на основе моделирования плоскости можно делать выводы о распределении температурных полей в цилиндрическом сосуде при возможности инверсии конвективного потока.

5. Текст диссертации содержит стилистические, пунктуационные и орфографические ошибки.

Заключение. Представленная диссертация является завершённой научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Полученные автором результаты являются новыми, достоверными и обоснованными. Автореферат отражает содержание диссертационной работы, а её основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях.

Замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа Филимоновой Людмилы Николаевны представляет собой завершённую научно-квалификационную работу и соответствует требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Я, Ахметова Оксана Валентиновна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук по

специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Главный специалист отдела

гидродинамических исследований скважин

ООО «РН-БашНИПИнефть»



Ахметова Оксана Валентиновна

15.07.2024

Почтовый адрес: ООО «РН-БашНИПИнефть», 450006, Республика Башкирия, г. Уфа, ул. Ленина, д. 86/1.

Тел.: +7 (347) 262-43-40, e-mail: ahoksana@yandex.ru